WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM

Internationales Buro
INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation 6:

G02F 1/1347

A1

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 96/10210

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum:

4. April 1996 (04.04.96)

(21) Internationales Aktenzeichen:

PCT/DE95/01363

(22) Internationales Anmeldedatum:

29. September 1995

(29.09.95)

(30) Prioritätsdaten:

P 44 34 921.1

29. September 1994 (29.09.94) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): OPTIKZEN-WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHES TRUM NORDRHEIN-WESTFALEN E.V. (OPTIKZEN-TRUM NRW) [DE/DE]; Universitätstrasse 142, D-44799

Bochum (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): KOHNS, Peter [DE/DE]; Kapellenweg 12, D-53179 Bonn (DE). SCHIRMER, Jörg [DE/DE]; Schöntalweg 34, D-53347 Alfter (DE).

(74) Anwalt: BUTENSCHÖN, BERGMANN, NÖTH, REITZLE, KRAUS; Mozartstrasse 17, D-80336 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten: BY, JP, LT, PL, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

#### Veröffentlicht

Mit internationalem Recherchenbericht.

Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.

(54) Title: ACHROMATIC PHASE LAGGING COMPONENT AND PROCESS FOR PRODUCING THE SAME

(54) Bezeichnung: ACHROMATISCHES PHASENVERZÖGERUNGSELEMENT UND VERFAHREN ZU SEINER HERSTELLUNG

#### (57) Abstract

The invention concerns an achromatic phase lagging component in which a plurality of liquid crystal layers are disposed in succession and by means of which in particular the state of polarisation of light at various wavelengths is to be monitored. The achromatic phase lagging component should enable the state of polarization to be uniformly influenced in a broad spectral range and it should be possible to produce said component simply and economically and such that it is sufficiently large. The liquid crystal layers (LC1-LCk) of the phase lagging component are formed from different liquid crystals, the rapid axes of the liquid crystal layers (LC1-LCk) being oriented parallel and/or perpendicular to one another. Furthermore, the liquid crystal layers (LC1-LCk) have different thicknesses (di).

### (57) Zusammenfassung

цонт Licht Uķ U2 U4 LC k

Die Erfindung betrifft ein achromatisches Phasenverzögerungselement, bei dem mehrere Flüssigkristallschichten nacheinander angeordnet sind und mit dem insbesondere der Polarisationszustand von Licht mit unterschiedlichen Wellenlängen überwacht werden soll. Das achromatische Phasenverzögerungselement soll eine gleichmäßige Beeinflussung des Polarisationszustandes in einem breiten Spektralbereich ermöglichen und in ausreichender Größe einfach und kostengünstig herstellbar sein. Dabei werden die Flüssigkristallschichten (LC<sub>1</sub>-LC<sub>k</sub>) des Phasenverzögerungselementes aus unterschiedlichen Flüssigkristallen gebildet, wobei die schnellen Achsen der Flüssigkristallschichten (LC1-LCk) parallel und/oder orthogonal zueinander orientiert sind. Ferner können die Flüssigkristallschichten (LC1-LCk) unterschiedliche Dicken (di) aufweisen.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

WO 96/10210 PCT/DE95/01363

1

# Achromatisches Phasenverzögerungselement und Verfahren zu seiner Herstellung

Die Erfindung betrifft ein achromatisches Phasenverzögerungselement, bei dem mehrere Flüssigkristallschichten nacheinander angeordnet sind und mit dem insbesondere der Polarisationszustand von Licht mit unterschiedlichen Wellenlängen überwacht werden kann.

10

15

Neben der Wellenlänge, der Ausbreitung und Intensität ist die Polarisation eine wesentliche Kenngröße elektromagnetischer Strahlung. Zur Beeinflussung des Polarisationszustandes im Bereich des ultravioletten, sichtbaren und infraroten Lichts werden üblicherweise  $\lambda/2-$  und  $\lambda/4-$ Platten, die aus doppelbrechenden Kristallen, wie Kalkspat, Kaliumdihydrogenphosphat (KDP) oder Quarz bestehen, verwendet.

Dabei ist eine einmal geschliffene Platte nur für eine bestimmte Wellenlänge dimensioniert, und die

20

25

35

Beeinflussung beispielsweise des Polarisationszustandes mehrerer Wellenlängen ist nicht möglich.

Solche Platten sind auf eine Phasenverzögerung fixiert. Eine aktive Einflußnahme auf die Phasenverzögerung zur Kompensation von Temperatureffekten oder zur Regelung der Phasenverzögerung auf unterschiedliche Werte ist nicht möglich.

Lediglich elektrooptische Modulatoren, beispielsweise aus Kaliumdihydrogenphosphat (KDP), gestatten eine Veränderung der Phasenverzögerung. Dabei sind bereits bei kleinen Aperturen Spannungen im kV-Bereich erforderlich, die nicht sicher und nur aufwendig handhabbar sind.

Eine gleichmäßige Beeinflussung des Polarisationszustandes in einem breiten Spektralbereich erfordert achromatische Phasenplatten, die eine feste Phasenverzögerung zwischen außerordentlichem und ordentlichem Strahl über ein bestimmtes Wellenlängenintervall  $[\lambda_{\rm Anfang},\ \lambda_{\rm Ende}]$  aufweisen.

Ein Anwendungsfall hierfür sind astronomische Polarisationsmessungen, bei denen wegen der Lichtschwäche vieler Beobachtungsobjekte breite Spektralbereiche zu integrieren sind, um auswertbare Signale zu erhalten.

Eine andere Möglichkeit zur Anwendung ist die Kontrolle des Polarisationszustandes eines mit ultrakurzen intensiven Laserimpulsen erzeugten Weißlichtkontinuums.

Achromatische Platten können aus mehreren Schichten von verschiedenen Kristallmaterialien mit gleicher

WO 96/10210 PCT/DE95/01363

3

oder um 90° verdrehter Lage der schnellen Achsen (D. Clarke, Optica Acta 14, 343 (1967)), aus mehreren unterschiedlich dicken und mit bestimmten Winkeln der schnellen Achsen verkitteten Schichten des gleichen Materials (S. Pancharatnam, Proc. Ind. Acad. Sci. A 41, 130 u. 137 (1955)) oder aus mehreren gleichdicken Schichten des gleichen Materials mit unterschiedlichen Orientierungen der schnellen Achsen (C.M. Mc Intyre, S.E. Harris, J. Opt. Soc. Am. 58, 1575 (1968)) hergestellt werden. Dabei ist jedoch nur bei der erstgenannten Methode die Lage der schnellen Achsen des ganzen Elementes unabhängig von der Wellenlänge.

5

- Mit einer Kombination der Verwendung mehrerer Schichten verschiedener Materialien mit gleicher oder um 90° verdrehter Lage der schnellen Achsen und der Verwendung von Schichten unterschiedlicher Dicken, die in bestimmten Winkeln miteinander verkittet sind, sind sogenannte "superachromatische" Platten erhältlich, die über den gesamten sichtbaren Spektralbereich nahezu konstante Phasenverzögerung und Lage der schnellen Achsen aufweisen.
- Die so ausgeführten Phasenplatten sind jedoch kostenintensiv und aus technischer Sicht nur mit einem kleinen Durchmesser von wenigen Zentimetern verfügbar.
- Dieser kleine Durchmesser verlangt beim Einsatz in der Astronomie an Großteleskopen (Flächenpolarimetrie) die Anordnung des Elementes in einem hoch kollimierten Strahlengang. Dadurch ist bei nicht achsenparallelen Strahlenbündeln der Einfallswinkel zur Flächennormalen des Elementes unvertretbar groß und

es wird eine Abweichung von der gewünschten Phasenverzögerung hervorgerufen, die zusätzlich dadurch erhöht wird, daß die einzelnen Elemente herstellungstechnisch bedingt Phasenplatten höherer Ordnung sind (d.h. Verzögerung von z.B. (m+1/2)λ mit m>>1).

5

10

15

20

25

30

35

Von J.E. Stockley, G.D. Sharp, D. Doroski, K.M. Johnson "High-speed analog achromatic intensity modulator", Optics Letters, Vol. 19, No. 10 (1994), S. 758-760, wird ein achromatischer Intensitätsmodulator, basierend auf zwei identischen, zwischen gekreuzten Polarisatoren angeordneten Schichten smektischer Flüssigkristalle beschrieben, die für eine mittlere Wellenlänge des achromatischen Bereichs jeweils als  $\lambda/2$ -Platte wirken. Durch Anlegen von Steuerspannungen können die Winkel zwischen schnellen Achsen der Flüssigkristalle und Polarisationsrichtung des Eingangspolarisators geändert werden. Hierdurch ergibt sich für die Kombination aus Flüssigkristallschichten und Polarisation ein Verhalten ähnlich dem einer drehbaren, achromatischen  $\lambda/2$ -Platte zwischen gekreuzten Polarisatoren. Die Transmission der Kombination für Licht, das in Durchlaßrichtung des Eingangspolarisators schwingt, kann zwischen nahezu 0 % und 100 % geregelt werden.

Ohne Feststellung der ein- und ausgehenden Polarisationsrichtung durch die Polarisatoren werden die Eigenschaften einer achromatischen  $\lambda/2$ -Platte jedoch nicht verwirklicht. So ist es beispielsweise nicht möglich rechtsdrehend zirkular polarisiertes Licht in linksdrehend polarisiertes Licht zu überführen. Auch die Herstellung einer achromatischen  $\lambda/4$ -Platte, beispielsweise zur Überführung linear polarisierten Lichts in zirkular polarisiertes Licht ist basierend

WO 96/10210 PCT/DE95/01363

5

auf dem in obiger Veröffentlichung beschriebenen Gerät nicht möglich.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein achromatisches Phasenverzögerungselement zu schaffen, das eine gleichmäßige Beeinflussung des Polarisationszustandes in einem breiten Spektralbereich ermöglicht und in ausreichender Größe einfach und kostengünstig herstellbar ist.

10

5

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 genannten Merkmale für die Vorrichtung und des Anspruchs 14 für das Verfahren gelöst.

15

Die Flüssigkristalle, die bevorzugt verschiedene, nematische Flüssigkristalle sind, werden in mehreren Schichten so angeordnet, daß die schnellen Achsen gleich oder orthogonal (90°) orientiert sind.

20

Aufbauend auf bekannten Technologien, können solche Phasenverzögerungselemente preiswert und mit großer Apertur hergestellt werden.

25

Eine Verwendung eines erfindungsgemäß ausgebildeten Phasenverzögerungselementes ist als Phasenmodulator, Polarisationsanalysator (in Verbindung mit einem nachgeordneten Polarisator) und nach Ergänzung mit zwei vor und nachgeschalteten Polarisationsfiltern als Intensitätsmodulator möglich.

30

35

Die Ordnung m der einzelnen Schichten kann durch Auswahl geeigneter Flüssigkristalle kleingehalten werden und dadurch der nutzbare Öffnungswinkel entsprechend groß ausfallen. Die zusätzlich angeordneten elek-

10

15

trisch leitenden Elemente, zwischen denen die Flüssigkristallschichten liegen, ermöglichen durch das Anlegen einer relativ niedrigen Spannung eine Regelung der Phasenverzögerung für jede Schicht gesondert. Dies kann für eine Durchstimmung der Phasenverzögerung des gesamten Elementes von einem Maximalwert bis nahezu Null genutzt werden. Außerdem ist eine Kompensation von Umgebungseinflüssen (z.B. Änderung der Doppelbrechung durch Temperaturschwankungen) möglich.

Die erfindungsgemäß ausgebildeten Phasenverzögerungselemente bieten zu den herkömmlichen Phasenplatten aus kristallinen Materialien eine nahezu universell einsetzbare Alternative, wobei die Schichtdicken, die Schichtanzahl und die ausgewählten Flüssigkristalle für den speziellen Anwendungsfall optimiert werden können.

Die Achromasie der Phasenverzögerungselemente wird durch eine Kombination mehrerer Flüssigkristall-schichten (k=Anzahl) bestimmt.

Dabei können die Dicken und die Anzahl der einzelnen Flüssigkristallschichten mathematisch bestimmt werden. Für die gewünschte Phasenverschiebung δ (in rad), z.B. δ=π für eine λ/2-Platte, und Δη<sub>i</sub>(λ) die wellenlängenabhängige Doppelbrechung der i-ten Flüssigkristallschicht (i=1, 2,...,k) wird das gewünschte Wellenlängenintervall [λ<sub>Anfang</sub>, λ<sub>Ende</sub>] bevorzugt äquidistant in k-1 Teile [λ<sub>i</sub>, λ<sub>i+1</sub>] geteilt. Für diesen Fall besitzt das folgende Gleichungssystem (1.1 - 1.k) für Flüssigkristalle mit unterschiedlicher Disperson der Doppelbrechung stets eine Lösung (d<sub>1</sub>,...d<sub>k</sub>):

10.

20

25

30

$$\Delta n_1(\lambda_1) * d_1 + \Delta n_2(\lambda_1) * d_2 + \dots + \Delta n_k(\lambda_1) * d_k = \delta * \lambda_1/2\pi$$
 (1.1)  
 $\Delta n_1(\lambda_2) * d_1 + \Delta n_2(\lambda_2) * d_2 + \dots + \Delta n_k(\lambda_2) * d_k = \delta * \lambda_2/2\pi$  (1.2)

$$\Delta n_1(\lambda_k) * d_1 + \Delta n_2(\lambda_k) * d_2 + \dots + \Delta n_k(\lambda_k) * d_k = \delta * \lambda_k / 2\pi \quad (1.k)$$

Dabei können die Werte  $d_i$  positiv oder negativ sein. Die Dicke der i-ten Flüssigkristallschicht ist der absolute Betrag von  $d_i$ . Für den Fall, daß  $d_i$  positiv ist, wird die i-te Schicht parallel zur x-Achse (vertikale Achse) und im gegenteiligen Fall parallel zur y-Achse (horizontale Achse) ausgerichtet. Für diesen Fall wird die gewünschte Phasenverschiebung  $\delta$  für die ausgewählten Wellenlängen  $\lambda_1,\ \lambda_2,\dots\lambda_k$  genau erreicht.

Je feiner die Unterteilung des Wellenlängenintervalls  $[\lambda_{Anfang}, \lambda_{Ende}]$  gewählt wird, um so besser ist die Achromasie des Elementes. Dies ist jedoch mit steigender Anzahl der Flüssigkeitkristallschichten verbunden.

Ein Phasenverzögerungselement mit den elektrisch leitenden Elektroden besitzt die Möglichkeit zur Änderung der Phasenverzögerung mit geeigneten Wechselspannungen. Oberhalb der Ansprechspannung gilt in einem geeigneten Intervall:

$$\Delta n_i(\lambda, V_i) = \Delta n_i(\lambda, V_i=0) * (const_{i,1} - const_{i,2} * V_i),$$

wobei  $V_i$  die Amplitude der Wechselspannungen der iten Schicht ist.

Mit der Wahl geeigneter Spannungen lassen sich Lösungen des Gleichungssystems (1.1 - 1.k) für verschiedene Phasenverzögerungen  $\delta$  finden, ohne daß die

10

15

20

25

30

Schichtdicken di oder Flüssigkristallschichten geändert werden müssen. Aufgrund der kleinen Schichtdikken sind nur geringe Spannungen im Volt-Bereich erforderlich, um ausreichend große Veränderungen zu bewirken.

Mit einem geeigneten Regelkreis für die angelegte Spannung an der jeweiligen Schicht können im Gegensatz zu den bekannten kristallinen Phasenplatten Abweichungen von den Sollwerten für die Phasenverzögerung, die durch Fertigungstoleranzen oder den Temperatureinfluß hervorgerufen werden, kompensiert werden. Zusätzlich ist eine gezielte Durchstimmung der Phasenverzögerung möglich. Es kann beispielsweise ein Element mit der Phasenverzögerung  $\pi$  zu einem neutralen Element verstimmt werden, da bei hohen Wechselspannungsamplituden die Doppelbrechung der Flüssigkristallschichten verschwindet. Bei gezieltem Senken der jeweiligen Wechselspannungsamplitude wird die Phasenverzögerung des gesamten Phasenverzögerungselementes eingeschaltet, wobei sie bei kleiner bis verschwindender Amplitude ihren maximalen Wert annimmt.

Herstellungsverfahren für mehrschichtige Flüssigkristallzellen sind von Display-Anwendungen ausreichend bekannt (US 42 60 224, US 44 31 270). Das erfindungsgemäße Phasenverzögerungselement unterscheidet sich jedoch dadurch, daß die einzelnen Flüssigkristalle parallel in den einzelnen Schichten ausgerichtet sind und keine "Twist"-Anordnung vorliegt. Je nach den optischen Eigenschaften der für die einzelnen Schichten verwendeten Flüssigkristalle, sind auch die Dikken der Schichten zu bestimmen. Hierbei kann das Gleichungssystem (1.1 - 1.k) herangezogen werden.

WO 96/10210

5

10

15

20

25

30

9

Die zwischen den Flüssigkristallschichten angeordneten Trennschichten sind wie die Substrate aus optisch hochwertigem Material (z.B. Quarzglas), um eine über die gesamte Apertur gleichmäßige Schichtdicke, Freiheit von Spannungsdoppelbrechung und Wellenfrontverzerrung bei geringen Verlusten zu gewährleisten.

Der ausnutzbare Durchmesser des Phasenverzögerungselementes kann mit den vorhandenen Herstellungstechnologien für Flüssigkristallanzeigen, bei definierter
und gleichmäßiger Dicke der einzelnen Flüssigkristallschichten ohne weiteres im Bereich von 10 cm
liegen, womit gegenüber der aufwendige und hohe Qualitätsansprüche erfordernden Herstellung von kristallinen Verzögerungselementen eine wesentlich kostengünstigere und flexiblere Fertigung möglich ist.

Im Gegensatz zu Grenzen, die bei der Verwendung doppelbrechender kristalliner Materialien (Verfügbarkeit von ausreichend großen und reinen Kristallen) und deren Bearbeitbarkeit (Polierbarkeit bei exakter Schichtdicke) bestehen, sind Flüssigkristalle in vielfältiger Form bekannt und einsetzbar. So sind beispielsweise in Landolt-Börnstein, "Numerical Data and Functional Relationsships in Science and Technology", New Series, Group IV: Macroscopic Properties of Matter, Vol. 7a-d: Liquid Cristals, ed. J. Thiem, Springer, Berlin/Heidelberg (1992/1993) ca. 50.000 bekannte Flüssigkristalle aufgeführt. Mit dem auf organischen Komponenten basierenden Aufbau der Flüssigkristalle ergeben sich neben den bereits bekannten auch weitere Möglichkeiten zur Synthese weiterer geeigneter Flüssigkristalle.

Nachfolgend soll die Erfindung an Hand von Ausführungsbeispielen näher erläutert werden.

### Dabei zeigt:

5	Fig. 1	eine teilweise perspektivische Dar- stellung eines achromatischen Phasen- verzögerungselementes;
10	Fig. 2	ein Diagramm der ermittelten Phasen- verzögerung für eine Platte aus Quarz und Magnesiumfluorid und
	Fig. 3	ein Diagramm der berechneten Phasen- verzögerung eines erfindungsgemäßen Phasenverzögerungselementes.

Die in Figur 1 gezeigte teilweise perspektivische 15 Darstellung eines Beispiels eines erfindungsgemäßen achromatischen Phasenverzögerungselementes verfügt über an den äußeren Seiten; in bezug auf den Strahlengang des Lichtes gesehen; angeordnete transparente Substrate S mit Oberflächen optischer Qualität und 20 paralleler Orientierung. Dazwischen sind Flüssigkristallschichten  $LC_1$  bis  $LC_k$  angeordnet, an deren äußeren Grenzflächen jeweils paarweise gegenüberliegend Orientierungsschichten  $R_l$  bis  $R_k$  und verbessernder Weise zusätzliche transparente, elektrisch leitende 25 Elektrodenpaare  $E_i$  bis  $E_k$  vorhanden sind. Zwischen diesen Schichten sind Trennschichten T aus einem im interessierenden Spektralbereich transparenten Material mit Oberflächen in optischer Qualität vorhanden.

Die Dicke der einzelnen Flüssigkristallschichten  $LC_i$  wird durch Abstandshalter  $A_i$ , die aus Glasfasern, Mylarfolien oder aufgedampftem Quarzglas bestehen, vorgegeben. Die Abstandshalter  $A_i$  haben bevorzugt das

gewünschte Dickenmaß  $d_i$  für die i-te Flüssigkristallschicht. Der gleiche Abstand wird auch für die gegeneinander weisenden Flächen der Orientierungsschicht  $R_i$  mit dem jeweiligen Abstandshalter  $A_i$  vorgegeben.

5

10

Diese Orientierungsschichten R<sub>I</sub> bis R<sub>k</sub>, die die Ausrichtung der Flüssigkristalle in den jeweiligen Flüssigkristallschichten LC<sub>I</sub> bis LC<sub>k</sub> bestimmen, sind bevorzugt aus gebürstetem Polyimid gebildet. Die Dicke dieser Orientierungsschichten R<sub>I</sub> bis R<sub>k</sub> liegt zur Gewährleistung eines hohen Transmissionsgrades im Bereich von ca. 100 nm. Die Reibrichtung ist für die je eine Flüssigkristallschicht LC<sub>i</sub> paarweise einschließenden Orientierungschichten R<sub>i</sub> parallel. Die jeweilige Reibrichtung eines Paares folgt entweder der in der Figur 1 eingezeichneten x-Achse oder y-Achse, je nach dem mit dem Gleichungssystem (1.1 - 1.k) für die betreffende Flüssigkristallschicht LC<sub>i</sub> ermittelten Ergebnis.

20

25

15

Genau wie die Reibrichtung und damit die Orientierung der Flüssigkeitkristallschichten  $LC_i$ , wird auch die Dicke der jeweiligen Flüssigkristallschichten  $LC_i$  in Abhängigkeit von den optischen Eigenschaften der für die Schicht verwendeten Flüssigkristalle und dem ausgewählten Spektralbereich mit genanntem Gleichungssystem (1.1 - 1.k) bestimmt. Dabei liegt auch die Dicke der Flüssigkristallschichten  $LC_i$  im  $\mu$ m-Bereich.

30

Die verwendeten Flüssigkristalle können den jeweiligen Anforderungen entsprechend ausgewählt werden.

Zur Kompensation von Temperaturschwankungen, Fertigungstoleranzen oder Durchstimmung der Phasenverzöge-

25

30

rung  $\delta$  können Steuerspannungen  $U_i$  an das jeweilige Paar transparenter Elektroden  $E_i$  angelegt werden, die gegebenenfalls mit einem nicht dargestellten Steueroder Regelkreis beeinflußbar sind. Zur Unterdrückung elektrochemischer Reaktionen werden Wechselspannungen von ca. 1 kHz ohne Gleichstrom-Offset eingesetzt.

Als Material für die Elektroden E, kommt in Schichtdicken im Bereich von 5-150 nm, bevorzugt von 10 100 nm, aufgedampftes Indium-Zinn-Oxid zum Einsatz,
um eine hohe Transmission vom Bereich des ultravioletten bis zum infraroten Spektralbereich zu sichern.

In der Figur 3 ist ein Beispiel einer rechnerisch
ermittelten Phasenverzögerung δ eines zweischichtigen
Phasenverzögerungselementes mit den Flüssigkristallen
NP-5, Hersteller Merck Chemikalien, Deutschland, und
RO-TN-403, Hersteller BDH chemicals, England, und in
Figur 2 ein Beispiel für eine Platte aus Quarz und
Magnesiumfluorid dargestellt.

Die notwendigen Doppelbrechungsdaten für die Flüssigkristalle wurden Shin-Tson Wu, Phys. Rev. A 33, 1270 (1986) und S.T. Wu, A.M. Lackner, U. Efron, Appl. Opt. 26, 3441 (1987) entnommen.

Die Figur, Dicken und Doppelbrechung für Quarz und Magnesiumfluorid sind K. Serkowski, "Methods of Experimental Physics", ed. N. Carleton, Academie Press York/London, Vol. 12A, 361 (1974) entnommen.

Die Schichtdicke für NP-5 beträgt 4,6  $\mu$ m, und für RO-TN-403 beträgt sie 6,5  $\mu$ m. Dies entspricht bei einer

WO 96/10210 PCT/DE95/01363

13

Wellenlänge von 750 nm einer Ordnung von m=1 für beide Flüssigkristallarten.

Die entsprechende Kristallplatte weist bei 500 nm eine Ordnung von m=6 für Magnesiumfluorid mit einer Dicke von 0,262 mm und eine Ordnung von m=5 für Quarz mit einer Dicke von 0,304 mm auf.

5

10

15

20

25

30

35

Daraus ergibt es sich, daß der nutzbare Öffnungswinkel bei Verwendung geeigneter Flüssigkristalle gegenüber den Kristallplatten entscheidend verbessert wird. Die Rotverschiebung des achromatischen Bereichs ist im Falle des betrachteten Flüssigkristallpaares durch das Kreuzen der Dispersionskurven der Doppelbrechung bei etwa 750 nm für die Flüssigkristalle und bei etwa 500 nm für Quarz und Magnesiumfluorid begründet.

Eine Veränderung/Verschiebung des achromatischen Wellenlängenbereiches läßt sich auch mit der Verwendung anderer Flüssigkristalle erreichen.

Wie in diesem Beispiel gezeigt, sind unterschiedliche Paare bzw. auch eine Mehrzahl von Flüssigkristallen mit sehr unterschiedlichen Dispersionen der Doppelbrechung erhältlich, um beim Achromatisieren mit der beschriebenen Methode die Ordnung m der einzelnen Schichten und so die Winkelabhängigkeit der Phasenverzögerung gegenüber den herkömmlichen in der Kristalloptik verwendeten Paare Quarz und Magnesiumfluorid, sehr zu verringern.

Eine weitere Verbesserung der Achromasie eines erfindungsgemäßen Phasenverzögerungselementes läßt sich mit neu zu synthetisierenden Flüssigkristallen errei-

10

chen, die neben der prominenten Absorption im Ultravioletten eine weitere prominente Absorption im nahen Infraroten aufweisen. Die Dispersion der Doppelbrechung mit der Wellenlänge dieser Flüssigkristalle im Sichtbaren weicht von dem normalen Verhalten (bei zunehmender Wellenlänge streng monoton fallend ohne Wendepunkt) dahingehend ab, daß entweder die Doppelbrechung im Roten ansteigt oder ein Wendepunkt vorhanden ist. In beiden Fällen läßt sich durch Kombination mit einer herkömmlichen Flüssigkristallschicht eine bessere Anpassung an den optimalen Verlauf (Doppelbrechung proportional zu λ, vgl. Gleichungssystem (1.1 - 1.k)) erreichen.

Eine weitere Verbesserung der Achromasie durch Hin-15 tereinanderschaltung mehrerer der beschriebenen Elemente mit unterschiedlichen Orientierungen der schnellen Achsen, basierend auf den von Pancharatnam in Proc. Ind. Acad. Sci. A 41, 130 u. 137 (1955) und 20 Mc Intyre/Harris in J. Opt. Soc. Am. 58, 1575 (1968) vorgeschlagenen Vorgehensweisen, ist ebenfalls möglich. Dabei ist jedoch zu beachten, daß bei einer Änderung der Soll-Verzögerung von z.B.  $\lambda/2$  auf  $\lambda/4$ neben den Phasenverzögerungen der einzelnen Flüssigkristallschichten, die ja über die angelegte Wechsel-25 spannung regelbar sind, auch die Orientierungen der schnellen Achsen zueinander geändert werden müssen. Dadurch wird entweder die Möglichkeit der Regelung der Phasenverzögerung verloren, oder es muß jedes 30 Element einzeln exakt mechanisch justiert werden können.

25

### Patentansprüche

- 1. Achromatisches Phasenverzögerungselement mit mehreren Flüssigkristallschichten, dadurch gekennzeichnet, daß die Flüssigkristallschichten (LC<sub>1</sub>-LC<sub>k</sub>) aus unterschiedlichen Flüssigkristallen gebildet sind, wobei die schnellen Achsen der Flüssigkristallschichten (LC<sub>1</sub>-LC<sub>k</sub>) parallel und/oder orthogonal zueinander orientiert sind.
  - Achromatisches Phasenverzögerungselement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Flüssigkristallschichten (LC<sub>1</sub>-LC<sub>k</sub>) unterschiedliche Dicken (d<sub>i</sub>) aufweisen.
- 3. Achromatisches Phasenverzögerungselement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Flüssigkristallschichten  $(LC_1-LC_k)$  von Orientierungsschichten  $(R_1-R_k)$  eingefaßt sind.
- Achromatisches Phasenverzögerungselement nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die im Strahlengang des Lichtes äußeren Flüssigkristallschichten (LC<sub>1</sub>) und (LC<sub>k</sub>) und die Orientierungsschichten (R<sub>1</sub>) und (R<sub>k</sub>) auf Substraten (S) aufgebracht sind.

- 5. Achromatisches Phasenverzögerungselement nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Orientierungsschichten  $(R_l-R_k)$  und Flüssigkristallschichten  $(LC_l-LC_k)$  zwischen transparenten, leitfähigen Elektroden  $(E_l-E_k)$  angeordnet sind.
- Achromatisches Phasenverzögerungselement nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß transparente Elemente (T) zwischen den Flüssigkristallschichten (LC<sub>1</sub>-LC<sub>k</sub>), den Orientierungsschichten (R<sub>1</sub>-R<sub>k</sub>) und den leitfähigen Elektroden (E<sub>1</sub>-E<sub>k</sub>) angeordnet sind.
- 7. Achromatisches Phasenverzögerungselement nach 20 Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Orientierung der Flüssigkristallschichten (LC<sub>1</sub>-LC<sub>k</sub>) durch Reiben der Orientierungsschichten (R<sub>1</sub>-R<sub>k</sub>) in einer bestimmten Richtung vorgegeben ist.
- 8. Achromatisches Phasenverzögerungselement nach wenigstens einem der Ansprüche 3 bis 7, dadurch gekennzeichnet,

  daß die Orientierungsschichten (R<sub>I</sub>-R<sub>k</sub>) aus gebürstetem Polyimid gebildet sind.

10

15

20

- 9. Achromatisches Phasenverzögerungselement nach wenigstens einem der Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die leitfähigen Elektroden (E<sub>I</sub>-E<sub>k</sub>) auf den Substraten (S) und den transparenten Elementen (T) aufgebracht sind.
- 10. Achromatisches Phasenverzögerungselement nach einem der Ansprüche 5 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die leitfähigen Elektroden  $(E_l-E_k)$  aufgedampftes Indium-Zinn-Oxid sind, an die Steuerspannungen anlegbar sind.
- 11. Achromatisches Phasenverzögerungselement nach wenigstens einem der Ansprüche 5 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß Wechselspannungen ohne Gleichstrom-Offset anlegbar sind.
  - 12. Achromatisches Phasenverzögerungselement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Dicke der Flüssigkristallschichten ( $LC_1$ - $LC_k$ ) mit zwischen den Orientierungsschichten ( $R_1$ - $R_k$ ) angeordneten Abstandshaltern (A) vorgegeben ist.
- 13. Achromatisches Phasenverzögerungselement nach

  Anspruch 12,
  dadurch gekennzeichnet,
  daß die Abstandshalter (A) aus Glasfasern, Mylarfolien oder aufgedampftem Quarzglas gebildet
  sind.

- 14. Achromatisches Phasenverzögerungselement nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Flüssigkristallschichten (LC<sub>1</sub>-LC<sub>k</sub>) aus nematischen Flüssigkristallen gebildet sind.
- 15. Verfahren zur Herstellung eines achromatischen Phasenverzögerungselementes unter Verwendung von mehreren Flüssigkristallschichten,

  10 dadurch gekennzeichneten, daß zwischen Substraten und Trennschichten Flüssigkristallschichten mit paralleler und orthoganaler Anordnung der schnellen Achsen von Paaren mit in einer Richtung geriebenen oder gebürsteten Orientierungsschichten eingefaßt werden, die die Orientierung der Flüssigkristalle bestimmen.
- 16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Orientierungsschichten mit auf Substraten und Trennschichten aufgedampften, elektrisch leitenden Elektrodenpaaren eingefaßt werden, an die eine Wechselspannung angelegt wird.

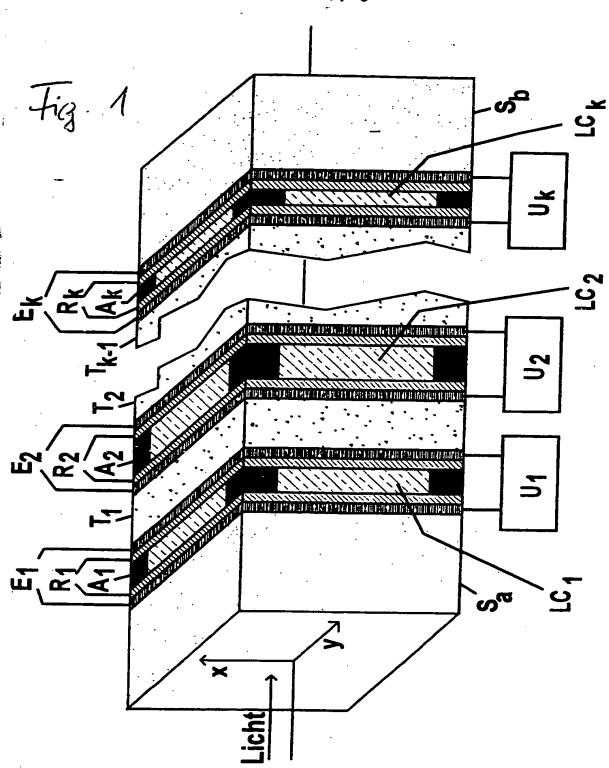
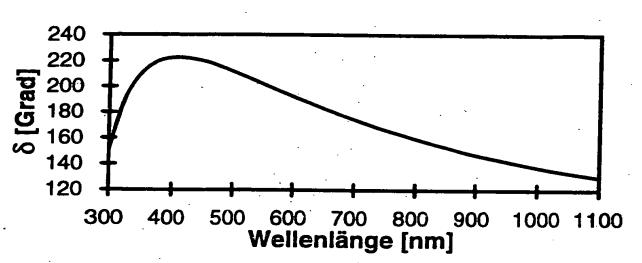
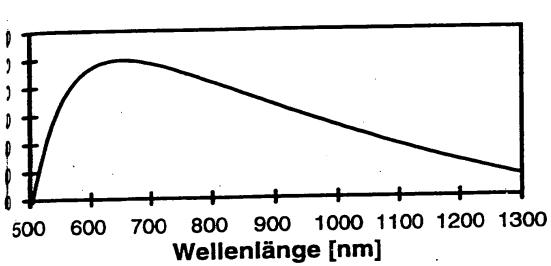


FIG. 2







## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

antional Application No PCT/DE 95/01363

			PCT/DE 95/01363
IPC 6	SSIFICATION OF SUBJECT MATTER G02F1/1347		
1			
		•	• .
	to International Patent Classification (IPC) or to both national DS SEARCHED	destilication and IPC	
	documentation rearched (descriptation system followed by das	Sification pumbols)	<del></del>
IPC 6	G02F		
		<del>-</del> .	
Document	ation searched other than minimum documentation to the extent	that such documents are uncli	uded in the fields searched
,	· ·		•
	·		
Electronic	data base consulted during the international search (name of date	a base and, where practical, a	search terms used)
		•	
		•	
6.500			· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
Category *	MENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		······································
Carlory	Citation of document, with indication, where appropriate, of t	he relevant passages	Relevant to claim No.
x	US,A,5 347 382 (RUMBAUGH SCOTT September 1994	H) 13	15,16
<b>A</b> .	see column 4, last paragraph - column 5, paragraph 1		1,3-12, 14
	see column 7, paragraph 2 - co paragraph 1; figure 9	lumn 8,	14
X	OPTICS LETTERS, 15 MAY 1994, USA, vol. 19, no. 10, ISSN 0146-9592, pages 758-760,		15
<b>^</b>	STOCKLEY J E ET AL 'High-speed achromatic intensity modulator' cited in the application see page 759, right column; fig		1,3-6,9, 10
l			, .
		-/	ł
]			
		·.	
X Furth	er documents are listed in the commustion of box C.	X Patent (amily mer	mbers are listed in annex.
Special care	gones of cited documents :	T later document exhibit	bed after the international films date
A docume	nt defining the general state of the art which is not red to be of particular relevance	or priority date and n	of in conflict with the application but to principle or theory underlying the
E" cartier d	ocument but published on or after the international	invention	•
filing date  "L" document which may throw doubts on priority daim(s) or		"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered in to involve an inventive step when the document is taken alone	
citizen iz	or other special reason (as specified)	"Y" document of particular	r relevance; the claimed invention to involve an inventive step when the
ome m		querment is compined	d with one or more other such docu- ion being obvious to a person skilled
P* documen later that	t published prior to the international filing date but in the priority date claimed	in the art. "&" document member of	•
	tual completion of the international search		international search report
11	January 1996		. 02 96
arme and ma	iling address of the ISA	Authorized officer	
	European Paizza Office, P.B. S818 Patendaan 2 NL - 2250 HV Rijawijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,	M ===1 ()	
	Fax: (+31-70) 340-3016	₩ ngel, H	·

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

national Application No PCT/DE 95/01363

		PCI/DE 93	
	Tion) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		Relevant to claim No.
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	·	
Α .	DE,A,42 31 390 (LICENTIA GMBH) 24 March 1994 see column 1, line 44 - line 63		1
A	APPLIED OPTICS, 1 NOV. 1984, USA, vol. 23, no. 21, ISSN 0003-6935, pages 3911-3915, WU S -T ET AL 'Birefringence measurements of liquid crystals' see page 3914, right column, paragraph 2 - page 3915, left column, paragraph 2	•	1,3-5,10
	,		
	<del>.</del>		
İ			
	·		
			·
		,	
	·		
		•	

### INTERNATIONAL SEARCH REPORT

national Application No PCT/DE 95/01363

L	Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
	US-A-5347382	13-09-94	NONE	
İ	DE-A-4231390	24-03-94	NONE	

#### INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

nationales Aktenzeichen PCT/DE 95/01363

KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES K 6 G02F1/1347

Nach der Internationalen Patentelassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

#### B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) IPK 6 GO2F

Recherchierte aber nicht zum Mindessprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultrerte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, sowert erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US,A,5 347 382 (RUMBAUGH SCOTT H) 13.September 1994	15,16
<b>A</b>	siehe Spalte 4, letzter Absatz - Spalte 5, Absatz 1 siehe Spalte 7, Absatz 2 - Spalte 8, Absatz 1; Abbildung 9	1,3-12, 14
X	OPTICS LETTERS, 15 MAY 1994, USA, Bd. 19, Nr. 10, ISSN 0146-9592, Seiten 758-760, STOCKLEY J E ET AL 'High-speed analog achromatic intensity modulator' in der Anmeldung erwähnt	15
<b>A</b>	siehe Seite 759, rechte Spalte; Abbildung 1/	1,3-6,9, 10

Westere Veröffenflichungen and der Fortsetzung von Feld C zu entsehenen						
Beso	ndere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :					
1 'A' U	Conflictions die des allermannes Stand der Technik definiert					

- spet nicht als pesonders pedentreur stranspen ist E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erschunen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden -ysoil oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie
- surgeführt)
- O' Veröffendlichung, die sich suf eine mindliche Offenbarung, eine Bematzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P' Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritändatum veröffendlicht worden ist
- T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritändatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern mur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Thoorie angegeben ist
- "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung die beanspruchte Erfind kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung micht als neu oder auf erfinderischer Tätigteit beruhend betrachtet werden
- Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindur kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

0 2. 02. 96

11.Januar 1996

Name und Postanschrift der Internationale Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentiaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tz. 31 651 epo ni, Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

X Siehe Anhang Patentiamilie

Wongel, H

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

nationales Altenzeichen
PCT/DE 95/01363

C.(Forsetting) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN  Kategorie' Bezeichnung der Verüffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile  A DE,A,42 31 390 (LICENTIA GMBH) 24. März 1994 siehe Spalte 1, Zeile 44 - Zeile 63  A APPLIED OPTICS, 1 NOV. 1984, USA, Bd. 23, Nr. 21, ISSN 0003-6935, Seiten 3911-3915, WU S -T ET AL 'Birefringence measurements of liquid crystals' siehe Seite 3914, rechte Spalte, Absatz 2 - Seite 3915, linke Spalte, Absatz 2	1 1,3-5,10
A DE,A,42 31 390 (LICENTIA GMBH) 24.März 1994 siehe Spalte 1, Zeile 44 - Zeile 63  A APPLIED OPTICS, 1 NOV. 1984, USA, Bd. 23, Nr. 21, ISSN 0003-6935, Seiten 3911-3915, WU S -T ET AL 'Birefringence measurements of liquid crystals' siehe Seite 3914, rechte Spalte, Absatz 2	
APPLIED OPTICS, 1 NOV. 1984, USA, Bd. 23, Nr. 21, ISSN 0003-6935, Seiten 3911-3915, WU S -T ET AL 'Birefringence measurements of liquid crystals' siehe Seite 3914, rechte Spalte, Absatz 2	
APPLIED OPTICS, 1 NOV. 1984, USA,  Bd. 23, Nr. 21, ISSN 0003-6935,  Seiten 3911-3915,  WU S -T ET AL 'Birefringence measurements  of liquid crystals'  siehe Seite 3914, rechte Spalte, Absatz 2	1,3-5,10
Bd. 23, Nr. 21, ISSN 0003-6935, Seiten 3911-3915, WU S -T ET AL 'Birefringence measurements of liquid crystals' sighe Seite 3914, rechte Spalte, Absatz 2	1,3-5,10
- Seite 3915, linke Spalte, Absatz 2	
1	
la de la companya de	
	•
	•
	·
·	
	•

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

pcT/DE 95/01363

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US-A-5347382	13-09-94	KEINE	
DE-A-4231390	24-03-94	KEINE	

THIS PAGE BLANK (USPTO)